

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

010550452      \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1996-047405/ 199605

XRPX Acc No: N96-039892

**Ion-beam convergence appts. for semiconductor wafer processing - has EHD  
ion source which emits FIB contg. ion materials on sample processing e.g.  
sample observation, ionl implantation on sample, sample sub-domain  
analysis and domain inspection**

Patent Assignee: HITACHI LTD (HITA )

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 7312196	A	19951128	JP 94102439	A	19940517	199605 B

Priority Applications (No Type Date): JP 94102439 A 19940517

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 7312196	A	16	H01J-037/252	

Abstract (Basic): JP 7312196 A

The appts. has an EHD ion source (2) which emits an FIB on a sample (12), e.g. semiconductor wafer. The beam from the source contains an ion material, e.g. liq. inert gas, liq. nitrogen, liq. oxygen, while the sample can be any of the group of elements belonging to the top of the periodic table.

By irradiating the FIB on the sample, a detailed processing can be performed without electric contamination on the sample and the production line or peripheral equipment. This processing includes the observation of the sample, ion implantation on sample, sample sub-domain analysis and inspection on sample domain where processing was performed.

ADVANTAGE - Improves prodn. yield.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-312196

(43) 公開日 平成7年(1995)11月28日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 J	37/252	B		
	27/26			
	37/08			
	37/09	A		

H 0 1 L 21/ 30 5 5 1

審査請求 未請求 請求項の数47 O L (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-102439

(22) 出願日 平成6年(1994)5月17日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 梅村 馨

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 間所 祐一

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 川浪 義実

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

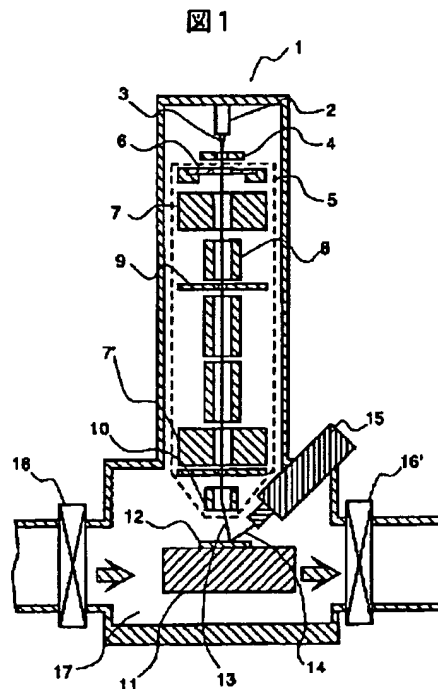
(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

(54) 【発明の名称】 集束イオンビーム照射方法および集束イオンビーム装置

(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 ウエハやデバイスなどの試料に対してF I Bを照射して、試料または試料製造ラインにコンタミネーションを与えることなく観察、分析、計測、検査などが行える集束イオンビーム照射方法、およびそれらを実現する集束イオンビーム装置を提供する。

【構成】 集束イオンビーム照射によって試料に微細加工を施して、試料の観察、分析または動作状態の検査のうちの少なくともいずれかを行なう集束イオンビーム照射方法であって、特に、上記集束イオンビームは、E H Dイオン源2から放出され、該E H Dイオン源のイオン材料が液体不活性ガス種、液体酸素、液体窒素、さらに、上記試料の主成分とは異種元素で周期律表上同族元素のうちのいずれかである集束イオンビーム照射方法である。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】集束イオンビーム照射によって試料に微細加工を施して、上記試料の観察、分析または動作状態の検査のうちの少なくともいずれかを行なう集束イオンビーム照射方法であって、特に、上記集束イオンビームは、電気流体力学的イオン源から放出され、該電気流体力学的イオン源のイオン材料が液体不活性ガス種、液体酸素、液体窒素、さらに、上記試料の主成分とは異種元素で周期律表上同族元素のうちのいずれかであることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項2】請求項1記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記微細加工が、試料の一部に新たな構造を付加する付加工または除去加工であることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項3】請求項1記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記微細加工が、(1)上記集束イオンビーム照射による微細凹部形成加工、(2)上記集束イオンビームと反応性ガスの照射による高速凹部形成加工、(3)上記集束イオンビームと有機ガスの照射による膜形成加工、(4)上記集束イオンビーム照射によって上記試料表面の異物を除去する表面洗浄のうちの少なくともいずれか一つであることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項4】請求項1記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記微細加工が、集束電子ビームによる試料の観察または分析に先立つ工程であることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項5】請求項4記載の集束イオンビーム照射方法において、特に、上記微細加工が、特に集束電子ビームによる透過観察または分析のための薄片形成加工であることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項6】請求項1記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記微細加工が、試料表面下の構造を露出させるための加工であることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項7】集束イオンビームを試料に照射し、該照射部からの二次信号を検出して、上記試料の観察、分析または動作状態の検査のうちの少なくともいずれかを行なう集束イオンビーム照射方法であって、特に、上記集束イオンビームは、電気流体力学的イオン源から放出され、該電気流体力学的イオン源のイオン材料が液体不活性ガス種、液体酸素、液体窒素、更に、上記試料の主成分とは異種元素で周期律表上同族元素のうちのいずれであることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項8】請求項7記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記二次信号が二次イオンであり、該二次イオンを質量分析することで上記試料の構成成分を分析することを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項9】複数の試料に順次集束イオンビームを照射して、上記試料から適正品を選択する集束イオンビーム

2

ム照射方法であって、特に、上記集束イオンビーム照射で上記試料に微細加工を施して、上記試料の観察、分析または動作状態の検査のうちの少なくともいずれか一つの工程によって上記複数の試料から適正品を選択することを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項10】複数の試料に順次集束イオンビーム照射を施して上記試料から適正品を選択する集束イオンビーム照射方法であって、特に、上記集束イオンビーム照射によって上記試料に微細加工を施して、上記試料の観察、分析または動作状態の検査のうちの少なくともいずれか一つの工程と、上記試料の良不良判定工程によって上記複数の試料から適正品を選択することを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項11】請求項9または10に記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記試料が半導体ウエハまたは半導体素子であることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項12】請求項9から11のいずれかに記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記集束イオンビームは、電気流体力学的イオン源から放出され、該電気流体力学的イオン源のイオン材料が液体不活性ガス種、液体酸素、液体窒素、さらに、上記試料の主成分とは異種元素で周期律表上同族元素のうちのいずれであることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項13】請求項10から12のいずれかに記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記良不良判定工程が、電子ビーム照射によってなされることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項14】請求項10から12のいずれかに記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記良不良判定工程が、集束イオンビームまたは電子ビーム照射による二次電子像と、予め計算機に登録した初期構造パターンとの比較によることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項15】請求項10から12のいずれかに記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記良不良判定工程が、集束イオンビームまたは電子ビーム照射による照射部の組成と、予め計算機に登録した初期構造組成との比較によることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項16】請求項10から12のいずれかに記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記良不良判定工程が、集束イオンビームまたは電子ビーム照射による二次電子コントラスト像と、予め計算機に登録した初期配線パターンとの比較によることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項17】請求項9から16のいずれかに記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記試料がシリコンウエハまたはシリコンデバイスであり、上記照射する集束イオンビームがイオン材料としてゲルマニウム単

体から引き出した集束ゲルマニウムイオンビームであることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項18】請求項9から16のいずれかに記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記試料がダイヤモンド層を有するウエハまたはデバイスであり、上記照射することを特徴とする集束イオンビームがイオン材料としてシリコンまたはゲルマニウム単体から引き出した集束シリコンイオンビームまたは集束ゲルマニウムイオンビームであることを特徴とする集束イオンビーム照射方法。

【請求項19】電気流体力学的イオン源と、該電気流体力学的イオン源から放出したイオンを集束イオンビームに形成して試料に照射する集束イオンビーム照射系と、上記試料を保持する試料台とから構成された集束イオンビーム装置であって、特に、上記電気流体力学的イオン源においてイオン化すべき材料が液体ネオン、液体アルゴン、液体クリプトン、液体キセノン、液体酸素、液体窒素のうちのいずれかであることを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項20】請求項19記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記電気流体力学的イオン源が、イオン材料を貯溜するリザーバと、上記イオン材料のイオンを先端から放出する針状電極、該針状電極に電界を集中させる引出し電極から構成され、かつ、少なくとも上記リザーバを低温に維持するための冷却手段を有することを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項21】請求項20記載の集束イオンビーム照射方法において、上記冷却手段が液体または気体の冷媒によることを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項22】請求項21記載の集束イオンビーム照射方法において、上記冷媒が特に液体窒素であることを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項23】電気流体力学的イオン源と、該電気流体力学的イオン源から放出したイオンを集束イオンビームに形成して試料に照射することを特徴とする集束イオンビーム照射系と、上記試料を保持する試料台とから構成された集束イオンビーム装置であって、特に、上記電気流体力学的イオン源においてイオン化すべき材料が、上記試料の主成分元素とは異種元素で、かつ、周期律表において上記主成分元素と同族の単体元素であることを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項24】請求項19から23のいずれかに記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記試料の主成分がシリコンであることを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項25】請求項23記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記試料の主成分がシリコンであり、かつ、上記電気流体力学的イオン源のイオン材料がゲルマニウム単体であることを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項26】請求項25記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記電気流体力学的イオン源における溶融イオン材料が接触する部材の全て、あるいは、そのうちの少なくともエミッタ素材が炭化タングステンであることを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項27】請求項25記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記電気流体力学的イオン源に記載のリザーバが炭素から構成された集束イオンビーム装置。

10 【請求項28】請求項19から26のいずれかに記載の集束イオンビーム照射方法において、更に上記集束イオンビーム照射系内に用いる各種絞りのうち、少なくとも、上記電気流体力学的イオン源から放出されたイオンビームの拡がり直接制限するビーム制限アパチャのすべて、もしくは、少なくともイオンビーム照射を受ける面が、上記試料の主成分元素、または周期律表上の同族元素で構成された集束イオンビーム装置。

【請求項29】請求項28記載の集束イオンビーム照射方法において、特に上記試料の主成分がシリコン、イオン材料がゲルマニウム単体であり、かつ、上記集束イオンビーム照射系内に用いる各種絞りのうち、少なくとも、上記電気流体力学的イオン源から放出されたイオンビームの拡がり直接制限するビーム制限アパチャがシリコンで構成された集束イオンビーム装置。

【請求項30】電気流体力学的イオン源と、該電気流体力学的イオン源から放出したイオンを集束イオンビームに形成して試料に照射することを特徴とする集束イオンビーム照射系と、上記試料を保持する試料台とから構成された集束イオンビーム装置であって、特に、上記電気流体力学的イオン源においてイオン化すべき材料が液体ネオン、液体アルゴン、液体クリプトン、液体キセノン、液体酸素、液体窒素のうちのいずれか、または、上記試料の主成分元素とは異種元素で周期律表において上記主成分元素と同族の単体元素であり、さらに、試料への集束イオンビームの照射によって上記試料の形状、動作状態または上記試料の製造の来歴を検査する検査手段を有することを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項31】請求項30記載の集束イオンビーム装置において、特に、上記検査手段が、特に、観察手段、分析手段、計測手段のうちの少なくとも1つであることを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項32】請求項31記載の集束イオンビーム装置において、特に上記観察手段が、集束イオンビーム照射によって放出される二次電子を捕らえる二次電子検出器、または、二次イオンを捕らえる二次イオン検出器の少なくともいずれかと、映像表示手段とから構成され、集束イオンビーム照射位置を二次電子像または二次イオン像で表示する手段であることを特徴とする集束イオンビーム装置。

50 【請求項33】請求項31記載の集束イオンビーム装置

において、特に、上記分析手段が、集束イオンビーム照射によって放出される二次イオンの質量分離手段であることを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項34】請求項31記載の集束イオンビーム装置において、特に、上記計測手段が、集束イオンビーム照射によって上記試料に流入した電流または上記試料から流出した電流を計測する電流計であることを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項35】請求項31記載の集束イオンビーム装置において、特に、上記集束イオンビームが照射される特定箇所の観察手段、分析手段、計測手段のうちの少なくとも1つと、上記集束イオンビームの照射部からの二次信号で製造履歴の良不良を判断する判断手段と、該判断に基づき上記試料を次製造工程に送るか上記製造ラインから除外する手段を有することを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項36】請求項30から32のいずれかに記載の集束イオンビーム装置において、特に、上記試料室は上記試料が大気に曝すことなく移動できる通路を有し、少なくとも走査型電子顕微鏡の試料室とが上記通路によって結合した構造であることを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項37】請求項34記載の集束イオンビーム装置において、特に、集束イオンビーム照射による工程の前もしくは後工程、またはそれら両工程を実行する上記装置が集束電子ビーム照射系であることを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項38】請求項19から35のいずれかに記載の集束イオンビーム装置において、特に、試料表面に付着した異物を集束イオンビームの照射によって除去することを特徴とする表面異物除去装置。

【請求項39】請求項19から36のいずれかに記載の集束イオンビーム装置において、特に、集束イオンビームの照射によって、X線マスク、フォトマスクなど半導体素子製造用マスク上のパターンを検査し、必要に応じて上記パターンの追加、除去することを特徴とする半導体素子配線修正装置。

【請求項40】請求項19から36のいずれかに記載の集束イオンビーム装置において、特に、集束イオンビームの照射によって半導体素子上の回路を検査し、必要に応じて配線の短絡部、断線部、欠落部の補修を行なうことを特徴とする半導体素子配線修正装置。

【請求項41】請求項19から38のいずれかに記載の集束イオンビーム装置において、特に、半導体素子上の故障回路を分離するために半導体素子上に予め設けたヒューズを集束イオンビームの照射によって切断するヒューズ切断装置。

【請求項42】請求項19から39のいずれかに記載の集束イオンビーム装置において、特に、試料の特定部分の断面を走査電子顕微鏡観察するために、集束イオンビ

ームの照射によって上記断面を露出させることを特徴とする集束イオンビーム断面加工装置。

【請求項43】請求項19から39のいずれかに記載の集束イオンビーム装置において、特に、集束イオンビームの照射によって、試料の特定部分の断面を透過電子顕微鏡観察するために薄片を形成させることを特徴とする集束イオンビーム薄片形成装置。

【請求項44】請求項19から39のいずれかに記載の集束イオンビーム装置において、特に、集束イオンビームの照射によって、半導体素子製造用マスクのパターンを露光することを特徴とするイオンリソグラフィ装置。

【請求項45】液体酸素をイオン材料とする電気流体力学的イオン源と、該電気流体力学的イオン源から放出したイオンを集束ビーム化し試料に照射させることを特徴とする集束イオンビーム照射系と、該集束イオンビームの照射によって上記試料から放出する二次イオンを質量分析する二次イオン質量分析部からなることを特徴とする二次イオン質量分析装置。

【請求項46】電気流体力学的イオン源と、該電気流体力学的イオン源から放出したイオンを集束イオンビームに成形して試料に照射することを特徴とする集束イオンビーム照射系と、上記試料を保持する試料台から構成された集束イオンビーム装置であって、上記電気流体力学的イオン源からのイオン放出方向を略上向きに、上記試料が集束イオンビーム照射面を略下向きに保持できる構成であり、かつ、上記電気流体力学的イオン源が請求項19から28のいずれかの電気流体力学的イオン源であることを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項47】半導体製造プロセスにおける各工程を行なう複数のチャンバおよび、これらとウエハの交換を行なうウエハハンドラ、該ウエハハンドラを含み、上記チャンバと連結したウエハハンドラハウジングから構成されるマルチチャンバ装置において、上記チャンバのうち少なくとも1個のチャンバが請求項37から46のいずれかの集束イオンビーム装置であることを特徴とするマルチチャンバ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体ウエハやデバイス等の試料に集束イオンビーム照射し、観察、計測、分析を行なう集束イオンビーム照射方法およびこれを用いた集束イオンビーム装置に係り、特に、集束イオンビーム照射の際、試料およびその製造ラインに電氣的汚染を伴わない非汚染集束イオンビーム照射方法、およびこれを実現させる集束イオンビームに関する。

【0002】

【従来の技術】集束イオンビーム (Focused Ion Beam : 以下FIBと略記) は直径100nm以下程度の細束なイオンビームで、その応用範囲は多岐に渡り、半導体プロセスにおけるイオン注入やエッチング、デポジション等

をレジストを用いずに局所的に行なうことができる。また、分析分野においては、二次イオン質量分析(SIMS)の一次イオンビーム系にFIBを用いることで、試料表面のサブミクロン領域の組成分析ができる。さらに、最近では、FIB照射による局所スパッタリングを利用し、試料の特定場所の断面を切り出してその断面を観察する断面加工技術や、透過型電子顕微鏡用の薄片試料作成技術も注目されている。

【0003】電気流体力学的イオン源(Electro-Hydrodynamics Ion Source、以下EHDイオン源と略記)は点状領域からイオン放出されるため高輝度であり、上記FIBを形成させるのに最適なイオン源である。イオン化すべき材料(イオン材料)が金属である場合、特に、液体金属イオン源(Liquid Metal Ion Source、略してLMIS)とも呼ばれる。EHDイオン源やLMISでは実用上、殆どの場合ガリウム(Ga)イオンが用いられている。Gaの融点および蒸気圧が低いため、イオン材料として取扱いやすいためと、放出イオン電流が比較的安定で、実用に耐えうるだけの長寿命を有するためである。

【0004】EHDイオン源の概略構成を図2に示す。イオン材料21を熔融状態で保持するリザーバ22と、これらを加熱しイオン材料21を熔融状態にするためのヒータ23、23'と、熔融状態のイオン材料21のイオン24をその先端から放出するためのエミッタ25と、エミッタ25の先端に高電界を集中させてイオンを引出すための引出し電極26とから構成されている。熔融状態のイオン材料21をエミッタ25の先端まで濡らせた後、引出し電極26に高電圧を引加すると、あるしきい電圧でエミッタ25先端の熔融イオン材料21はテイラーコーンと呼ばれる円錐形状となり、その先端からイオン放出される。ここで、27、27'は、イオン材料を加熱溶解させるために電源から電力をヒータに伝えるための電流導入端子、28は電流導入端子27、27'を支える絶縁碍子、29はエミッタを支える支持部である。このEHDイオン源は真空容器に設置し、動作させる。

【0005】EHDイオン源の構成を示す公知例として、論文集『ジャーナル・オブ・ヴァキューム・サイエンス・アンド・テクノロジー』第A2巻、(1984年)第1365頁から第1369頁に記載の『デヴェロップメント・オブ・ボロン・リキッド・メタル・アイアン・ソース』なる論文に示されている。(Journal of Vacuum Science and Technology, A2, (1984)1365-1369 "Development of Boron Liquid Metal Ion Source") (公知例1)

【0006】

【発明が解決しようとする課題】発明が解決しようとする課題を明らかにするために、以下、①半導体製造プロセスとFIB照射方法に見られる問題点と、②FIB形成のためのイオン源とその問題点に分けて説明する。

【0007】①半導体製造プロセスとFIB照射方法に見られる問題点

半導体デバイスの製造工程では、各プロセスの評価を各プロセス直後に行ない、各プロセスの良不良の判別を付けることは、そのプロセス条件またはデバイスの良不良が評価でき、製品歩留り向上の面から有効である。例えば、現状では光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡を用いた表面観察や寸法計測がある。このような評価は、試料への外部からの不純物混入を避けるために生産ラインで行なわれることからインライン評価と呼ばれる。このインライン評価は製造条件の最適化を短周期で行なえ、ある工程で発生した不良品を次工程に移すことなく除去できるため、最終製品の歩留り向上に貢献する方法である。

【0008】しかし、プロセス現場では表面観察や寸法計測ばかりでなく、表面下の配線や層間絶縁膜状態、混入異物などを、プロセス直後にその場で、断面を形成して観察や分析、計測をしたいという要求が大きい。所望の微細領域の断面形成にはFIBが最適であるが、現状ではFIBはインラインでは用いられず、あるサンプルについてライン外でプロセス評価や原因究明が行なわれている。理由は、Siウエハやデバイスに、従来のGa-FIBを照射すると、Gaが試料内部に注入されたり、表面に残留し、これがSi内で電気的に活性化するためである。一旦Ga-FIB照射した試料を再び製造ラインに復帰させると、試料は勿論のこと、製造ラインまでもGa汚染され、その後に製造されるウエハやデバイスまで電気的影響を及ぼし、甚大な被害をもたらす。さらに、FIB光学系内でFIB照射を受けた部品(例えば、アバチャ、電極)がスパッタされ、試料上に堆積する。この堆積物が重金属である場合もSiデバイス動作に悪影響を及ぼす。

【0009】一方、従来法であるサンプリングについては、評価からプロセスへの情報のフィードバックが遅く、特に、FIBによる評価工程を1工程毎にウエハをラインからサンプリングしてライン外で行なうと、FIB照射を受けなかった残りの素子が無駄になることになり、ウエハ1枚に百以上ものデバイスが作り込まれる最近のSiメモリプロセスでは非常に不経済である。

【0010】このように、FIB技術が半導体生産現場、例えば、Si半導体メモリの量産ラインで利用されない最大原因は、FIB照射を受ける試料が、FIBそのものの、または、イオン光学系からの発生物によって、電気的汚染や重金属などの汚染を受けるためである。従って、FIB装置を半導体製造ラインで、光学顕微鏡のように工程評価手段として用いるために、ウエハやデバイスなどの試料、更には製造ラインまでも汚染を与えず、評価がインラインで行える非汚染のFIB照射方法が望まれ、さらにこのプロセスを実現させるFIB装置が強く望まれていた。

【0011】②FIB形成のためのイオン源とその問題

点

FIBでSiウエハやデバイスに対して電氣的汚染を与えずに微細加工を施すためには、不活性ガス種であるNe、Ar、Kr、Xe、さらに、Si基板内でエネルギー準位を形成しないの周期律表上での同族のSiやGeなどで最適である。また、他の化合物半導体などを微細加工するにも、上記不活性ガス種が好ましい。

【0012】試料の局所加工や高速分析を実現するFIBを形成するには、高輝度イオン源が必要で、不活性ガス種については電界電離ガスイオン源(Field Ionization Source、以下FISと略記)、金属元素についてはEHDイオン源(LMIS)が該当する。Ne、ArについてはFISを用いてイオン放出させようという試みはあるものの、未だに安定したFIBは得られていない。さらに、従来型EHDイオン源では熔融状態のイオン材料が必要なためガス種は放出できなかった。

【0013】一方、SiやGeイオンを発生させるためにはEHDイオン源が使用でき、従来、イオン材料にAu-Si、Au-Ge、Pt-Geなどの合金を用いる方法がある。合金化によって融点をSi、Ge単体よりも低下させ、イオン放出時に熔融イオン材料の温度ドリフトを小さくし、イオン材料として取扱いを容易にするためである。しかし、この場合、合金のAu、PtなどGe以外の成分によって試料や製造ラインが重金属汚染されるため、インラインでのSi半導体製造、検査には、SiまたはGe-FIBのイオン材料としては、SiまたはGeを単体で用いなければならない。しかしながら、SiやGe単体をEHDイオン源のイオン材料として用いるには、エミッタ材として一般に使用されているタングステン(W)を、SiやGeが非常に活性元素であるため短時間のうちに侵食するという問題点があった。Si-EHDイオン源またはGe-EHDイオン源を実用化させるためには、熔融SiやGeに侵食されず、長時間安定した濡れを維持できるエミッタ、リザーバ材の探索が最大課題であった。

【0014】本発明は上記の課題を解決するためになされたもので、本発明の第1の目的は、ウエハやデバイスなどの試料に対してFIBを照射して、試料もしくは試料製造ラインにコンタミネーションを与えることなく観察、分析、計測、検査などが行なえる集束イオンビーム照射方法を提供することである。

【0015】また、本発明の第2の目的は、ウエハやデバイスなどの試料に電氣的汚染やイオンビーム照射によるコンタミネーションを発生させることなく試料の特定箇所の微細加工、観察、分析、計測を実現させるEHDイオン源を搭載した集束イオンビーム装置を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】まず、半導体素子の製造プロセスを例に、図3で本発明による集束イオンビーム

プロセスを説明する。図3(a)は従来プロセスフロー、(b)は本発明によるフローである。(a)では、半導体素子はあるプロセスAを経て次のプロセスBに移行し、以下、次々とプロセスを経る。プロセスAは例えばCVD工程で、プロセスBはレジスト除去工程などである。この場合、プロセスAで発生した不良品はそのままプロセスBに送られる。プロセスBにおいても不良品はある確率で発生し、前プロセスAでの不良品に加算される。以下、次々と各プロセスを経て最終製品となる時には、完全に仕様を満たす製品の歩留りは低くなる。

【0017】一方、本発明による集束イオンビームプロセス(b)は、プロセスAを経た後、集束イオンビームによる検査工程Fを経由し、次プロセスBに送る。FIBによる検査工程には観察、分析、計測等の手段、また、必要なら電子ビームによる観察や分析工程Eを経る。さらに、必要ならば修正を施す工程(図示せず)に送ることもできる。また、不良となれば上記観察、分析、計測等の手段で原因を明らかにし、プロセスAの条件を改善するように即座にフィードバックをかけることができ、修正不能の不良品については、ラインから除去し(図中、除去工程D)、次プロセスB以降のプロセスに送らないようにする。このことで歩留りを飛躍的に向上させることができる。

【0018】このプロセスで、FIBイオン種がポイントで、ラインに流れる試料(ウエハやデバイス)やラインに汚染を与えないことが、製品歩留りを向上させる必須条件である。本発明によるプロセスでは、イオン化すべき材料に、上記試料の主成分元素とは異種元素であり、周期律表上、イオン材料と同族の単体元素、もしくは不活性ガス元素を用いた集束イオンビームを用いる。これによって、上記第1の目的は解決する。

【0019】また、このようなプロセスは、上記イオン種を発生するEHDイオン源を搭載したFIB装置によって実現される。

【0020】具体的には、試料がSiデバイスや、ウエハ、チップである場合、これらに汚染を与えずに微細加工を施すためには、照射すべきイオン種はGe、不活性ガス種であるAr、Ne、Krの何れかを採用し、これらはすべて、単体元素をイオン材料として用いる。イオン源の形態はEHDイオン源を用いることで、試料に対して高電流密度のFIBを照射することができる。また、ダイヤモンドを基板とするデバイスについては、周期律表上同族元素のSiやGeが最適である。Siデバイスに対してSi、ダイヤモンドデバイスに対してCを用いないのは、基板と入射ビームの元素が同じ場合、スパッタリング収率が小さく、加工効率が低いためである。

【0021】Ge-EHDイオン源の場合、用いるイオン材料はGe単体であり、このイオン源を構成する各部材のうち、熔融Geと接触する部材の全て、あるいはそ



のうちの少なくともエミッタ材を炭化タングステン (WC) で作製する。これは、熔融Geとの反応が軽減できるという特徴を有しエミッタ材として好適である。また、イオン光学系に注目すると、集束イオンビーム装置のイオン光学系内に用いられる各種絞りのうち、少なくとも上記のGe-EHDイオン源から放出されるイオンビームの拡がりや直接制限するビーム制限アパーチャには、炭素、シリコン、炭化ケイ素のうちのいずれかの材料で作製されたものを用いることで、試料に汚染物質を堆積させる心配はなくなる。

【0022】一方、イオン材料として不活性ガス種を用いる場合、不活性元素を低温で液体状態にし、イオン材料が貯留されるリザーバを低温保持する冷却手段と、電界を集中させる針状電極と、電界を印加する引き出し電極で構成することで、EHDイオン源から不活性イオンを放出させることができる。リザーバの冷却手段として、液体窒素などを冷媒とすることが簡単で経済的である。このような構成のEHDイオン源とFIB照射光学系の組合せにより、イオン材料として液体Ar、Ne、Xe、Kr、さらには液体酸素、液体窒素を用いることで、不活性ガスイオン、酸素イオンや窒素イオンのFIBを形成することができる。試料に照射するFIBが不活性であるために試料は余分な金属元素などで汚染されることはない事が最大の利点である。

【0023】更に具体的には、上記第1の目的は、

(1) FIB照射によって試料に微細加工を施し、上記試料の観察、分析または動作状態の検査のうちの少なくともいずれかを行なうFIB照射方法であって、特に、上記FIBはEHDイオン源から放出され、EHDイオン源のイオン材料が液体不活性ガス種、液体酸素、液体窒素、さらに、上記試料の主成分とは異種元素で周期律表上同族元素のうちのいずれであるFIB照射方法によって達成される。

【0024】または、特に、上記(1)における上記微細加工が、(2)試料の一部に新たな構造を付加する付加加工または除去加工であるか、(3) [1] 上記FIB照射による微細凹部形成加工、[2] 上記FIBと反応性ガスの照射による高速凹部形成加工、[3] 上記FIBと有機ガスの照射による膜形成加工、[4] 上記FIB照射によって上記試料表面の異物を除去する表面洗浄のうちの少なくともいずれか一つであるか、または、

(4) 集束電子ビームによる試料の観察または分析に先立つ工程であるか、(5) 試料表面下の構造を露出させるための加工であってもよく、特に、(6) 上記(4)における工程が、集束電子ビームによる透過観察または分析のための薄片形成加工であるFIB照射方法によって実現できる。また、(7) FIBを試料に照射し、照射部からの二次信号を検出し、試料の観察、分析または動作状態の検査のうちの少なくともいずれかを行なうFIB照射方法であり、上記FIBは、EHDイオン源か

ら放出され、EHDイオン源のイオン材料が液体不活性ガス種、液体酸素、液体窒素、さらに、上記試料の主成分とは異種元素で周期律表上同族元素のうちのいずれであるFIB照射方法でもよく、特に、(8) 上記(7)における二次信号が二次イオンであり、二次イオンを質量分析することで上記試料の構成成分を分析するFIB照射方法であってもよい。また、(9) 複数個の試料に順次FIBを照射して試料から適正品を選択するFIB照射方法であって、特に、FIB照射で試料に微細加工を施すことで、上記試料の観察、分析または動作状態の検査のうちの少なくともいずれか一つの工程によって上記複数個の試料から適正品を選択するFIB照射方法、または、(10) 複数個の試料に順次FIBを照射して試料から適正品を選択するFIB照射方法であって、特に、FIB照射によって試料に微細加工を施すことで、試料の観察、分析または動作状態の検査のうちの少なくともいずれか一つの工程と、この試料の良不良判定工程によって上記複数個の試料から適正品を選択するFIB照射方法も上記第1の目的を実現させることができる。また、(11) 上記(9)または(10)における上記試料が半導体ウエハまたは半導体素子である場合でもよく、また、(12) 上記(9)から(11)のいずれかにおける上記FIBは、EHDイオン源から放出され、該EHDイオン源のイオン材料が液体不活性ガス種、液体酸素、液体窒素、さらに、上記試料の主成分とは異種元素で周期律表上同族元素のうちのいずれであるFIB照射方法、また、上記(9)から(12)のいずれかにおける上記良不良判定工程は、(13) 電子ビーム照射によってなされるか、または、(14) FIBまたは電子ビーム照射による二次電子像と、予め計算機に登録した初期構造パターンとの比較によるか、または、(15) FIBまたは電子ビーム照射による照射部の組成と、予め計算機に登録した初期構造組成との比較によるか、または、(16) FIBまたは電子ビーム照射による二次電子コントラスト像と、予め計算機に登録した初期配線パターンとの比較による工程であればよい。

【0025】また、上記(9)から(16)のいずれかにおける上記試料は、(17) S1ウエハまたはS1デバイスである場合、上記照射するFIBがイオン材料としてGe単体から引き出したGe-FIBであるか、または、(18) ダイヤモンド層を有するウエハまたはデバイスである場合、照射するFIBがイオン材料としてS1またはGe単体から引き出したS1-FIBまたはGe-FIBであるFIB照射方法によって達成される。

【0026】次に、上記第2の目的は、(19) EHDイオン源と、該EHDイオン源から放出したイオンをFIBに形成して試料に照射するFIB照射系と、上記試料を保持する試料台とから構成されたFIB装置であって、特に、EHDイオン源のイオン材料が液体ネオン、

液体アルゴン、液体クリプトン、液体キセノン、液体酸素、液体窒素のうちのいずれかであるFIB装置によって実現できる。または、(20)上記(19)における上記EHDイオン源は、イオン材料を貯溜するリザーバと、イオン材料のイオンを先端から放出する針状電極、針状電極に電界を集中させる引出し電極から構成され、かつ、少なくとも上記リザーバを低温に維持するための冷却手段を有するものであってもよく、さらに、(21)上記(20)における冷却手段が液体または気体の冷媒であればよく、(22)上記(21)における冷媒が特に液体窒素であってもよい。また、(23)EHDイオン源と、EHDイオン源から放出したイオンをFIBに形成して試料に照射するFIB照射系と、試料を保持する試料台とから構成されたFIB装置であって、特に、EHDイオン源においてイオン材料が、上記試料の主成分元素とは異種元素で、かつ、周期律表において上記主成分元素と同族の単体元素であるFIB装置、または、(24)上記(19)から(23)のいずれかの試料の主成分がSiであるFIB装置、または、(25)上記(23)における上記試料の主成分がSiであり、かつ、EHDイオン源のイオン材料がGe単体であるFIB装置、または、(26)上記(25)における上記EHDイオン源における溶融イオン材料が接触する部材の全て、あるいは、そのうちの少なくともエミッタ素子がWCであるFIB装置、または、(27)上記(25)における上記EHDイオン源におけるリザーバが炭素から構成されたFIB装置、または、(28)上記(19)から(26)のいずれかにおける更に上記FIB照射系内に用いる各種絞りのうち、少なくとも、EHDイオン源からの放出イオンの拡がりを制限するビーム制限アパチャのすべて、もしくは、少なくともイオンビーム照射を受ける面が、上記試料の主成分元素、または、周期律表上同族元素で構成されたFIB装置、または、(29)上記(28)における上記試料の主成分がSi、イオン材料がGe単体であり、かつ、上記FIB照射系内に用いる各種絞りのうち、少なくとも、上記EHDイオン源からの放出イオンの拡がりを制限するビーム制限アパチャがSiで構成されたFIB装置、または、(30)EHDイオン源と、EHDイオン源から放出したイオンをFIBに形成して試料に照射するFIB照射系と、試料を保持する試料台とから構成されたFIB装置であって、特に、EHDイオン源のイオン材料が液体ネオン、液体アルゴン、液体クリプトン、液体キセノン、液体酸素、液体窒素のうちのいずれか、または、試料の主成分元素とは異種元素で周期律表上同族の単体元素であり、さらに、試料へのFIBの照射によって上記試料の形状、動作状態または上記試料の製造の来歴を検査する検査手段を有するFIB装置でもよい。特に、(31)上記(30)における上記検査手段が、観察手段、分析手段、計測手段のうちの少なくとも1つである

FIB装置でもよく、さらに、上記(31)における観察手段が、(32)FIB照射によって放出される二次電子を捕らえる二次電子検出器、または、二次イオン検出器の少なくともいずれかと、映像表示手段とから構成され、FIB照射位置を二次電子像または二次イオン像で表示する手段であるか、(33)FIB照射によって放出される二次イオンの質量分離手段であってもよい。また、(34)上記(31)における計測手段が、FIB照射によって試料に流入した電流または試料から流出した電流を計測する電流計であるFIB装置、または、(35)上記(31)において、上記FIBが照射される特定箇所の観察手段、分析手段、計測手段のうちの少なくとも1つと、上記FIBの照射部からの二次信号で製造来歴の良不良を判断する判断手段と、この判断に基づき試料を次製造工程に送るか製造ラインから除外する手段を有するFIB装置、または、(36)上記(30)から(32)のいずれかで、上記試料室は上記試料が大気に曝すことなく移動できる通路を有し、少なくとも走査型電子顕微鏡の試料室とが上記通路によって結合した構造であるFIB装置、または、(37)上記(34)において、FIB照射による工程の前もしくは後工程、またはそれら両工程を実行する上記装置が集束電子ビーム照射系であるFIB装置でもよい。具体的装置例として、(38)上記(19)から(35)のいずれかのFIB装置が、特に試料表面に付着した異物をFIBの照射によって除去する表面異物除去装置、または、(39)上記(19)から(36)のいずれかのFIB装置が、特にFIBの照射によって、X線マスク、フォトリソマスクなど半導体素子製造用マスク上のパターンを検査し、必要に応じて上記パターンの追加、除去を行なうか、または、(40)FIBの照射によって半導体素子上の回路を検査し、必要に応じて配線の短絡部、断線部、欠落部の補修を行なう半導体素子配線修正装置、または、(41)上記(19)から(38)のいずれかのFIB装置が、特に、半導体素子上の故障回路を分離するために半導体素子上に予め設けたヒューズをFIBの照射によって切断するヒューズ切断装置、または、(42)上記(19)から(39)のいずれかのFIB装置が、特に、試料の特定部分の断面を走査電子顕微鏡観察するために、FIBの照射によって上記断面を露出させるFIB断面加工装置、または、(43)上記(19)から(39)のいずれかのFIB装置が、特に、FIBの照射によって、試料の特定部分の断面を透過電子顕微鏡観察するために薄片を形成させるFIB薄片形成装置、または、(44)上記(19)から(39)のいずれかのFIB装置が、特に、FIBの照射によって、半導体素子製造用マスクのパターンを露光するためのイオンリソグラフィ装置、または、(45)液体酸素をイオン材料とするEHDイオン源と、このEHDイオン源に対するFIB照射系と、該FIBの照射によって上記試

料から放出する二次イオンを質量分析する二次イオン質量分析部からなるSIMS装置、または、(46) EHDイオン源と、該EHDイオン源から放出したイオンをFIBに成形して試料に照射するFIB照射系と、上記試料を保持する試料台から構成されたFIB装置であって、上記EHDイオン源からのイオン放出方向を略上向きに、上記試料がFIB照射面を略下向きに保持できる構成であり、かつ、上記EHDイオン源が上記(19)から(28)のいずれかのEHDイオン源であるFIB装置に適用できる。さらに、(47) 半導体製造プロセスにおける各工程を行なう複数のチャンバおよび、これらとウエハの交換を行なうウエハハンドラ、該ウエハハンドラを含み、上記チャンバと連結したウエハハンドラハウジングから構成されるマルチチャンバ装置において、上記チャンバのうち少なくとも1個のチャンバが上記(37)から(46)のいずれかのFIB装置であるマルチチャンバ装置によっても上記FIB照射方法を実現させることができる。

【0027】

【作用】イオン源に、Ne, Kr, Ar, Xeなどの不活性ガス元素、酸素、窒素、更には、試料の主成分元素とは異種元素で周期律表上同族元素をイオン材料としたEHDイオン源を用いることにより、試料やその製造ラインに対して電気的特性に影響を与えるコンタミネーションを発生することはない。試料の主成分元素とは異種で周期律表上同族の単体元素の例として、試料がSiウエハやSiデバイスである場合にはGe単体が相当する。ダイヤモンド基板デバイスではSiやGeが相当する。SiやGe単体をイオン材料としたEHDイオン源を用いて、これから得られる高電流密度のFIBを試料に照射することで、試料やその製造ラインに電気的な汚染を与えることなく加工や検査が行える。また、FIBが照射するイオン光学系部品、例えばビーム制限絞りがSiやGe板であると、イオンスパッタによって生じた粒子が試料に付着しても、電気的影響を与えることはない。

【0028】Ge-EHDイオン源を搭載したFIB装置では、照射するイオンビームがGeのみで構成されているため、特に半導体素子製造のインプロセスにおいて重金属、ドーパント元素やアルカリ金属など汚染の心配なしに使用することができるので極めて実用的である。Ge-EHDイオン源において、少なくとも熔融Geと接触するエミッタ、リザーバ部をWC製にすることで、長寿命で、かつ、高安定にイオン放出するGe-EHDイオン源、さらにはこれを搭載したGe-FIBを実現することができる。

【0029】次に、低温イオン材料を用いたEHDイオン源の作用について、液体キセノンを例にとり図4で説明する。この例では、EHDイオン源30のイオン放出方向が水平の場合を示した。供給口31から導入された

液体Xe32はリザーバ33に貯溜される。リザーバ33先端は金属製キャピラリ34になっていて、その先端は内径約0.1mmにまで絞れられていて、キャピラリ34中には電界を集中させるためのエミッタ35が貫通して設置されている。エミッタ先端は約1mm露出している。イオン材料32はリザーバ33からキャピラリ34とエミッタ35の間隙を通してエミッタ35先端まで浸透する。引出し電極39によって形成された高電界によりEHDモードで電離され、下流のイオンビーム照射系(図示せず)に導入される。

【0030】リザーバ33内の液体Xe32の冷却維持方法は、供給口40から冷却槽37内に冷媒である液体窒素36に供給し、熱伝導率のよく絶縁性の良いサファイアブロック38に接触結合したリザーバ33を熱伝導により低温が維持される。

【0031】EHDイオン源30の一部は液体Xe32、液体窒素37の熱蒸発を防止するために熱伝導の悪いセラミックス41で断熱されている。また、リザーバ、冷却槽を真空容器42内にある。また、上記イオン源構造は、イオン材料が他の液体アルゴンや液体酸素などであっても適応でき、またイオン放出方向は垂直方向でも問題はない。

【0032】上述のようなイオン種のFIBを試料に照射することにより、試料やその製造ラインにコンタミネーションを与えることなく試料に微細加工を施したり、試料表面を観察したり、または集束イオンビーム照射によって生じる試料からの信号を利用して分析や計測することで試料自身またはその製造履歴を検査することができる。

【0033】類似技術として、エレクトロスプレイ型イオン源があるが、これと本発明による液体不活性ガス用EHDイオン源と以下の点で異なる。エレクトロスプレイイオン源は、①イオン化が生じるイオン化室は大気圧に近く、差動排気により高真空の分析部へ導かれる。②イオン材料である液体が背圧によって徐々に高電界領域であるキャピラリ先端に導入されて放出される。

【0034】

【実施例】

(実施例1) 本実施例1では、本発明に係るFIBの発生源としてゲルマニウム単体をイオン材料としたGe-EHDイオン源について説明する。

【0035】本検査装置に搭載するGe-EHDイオン源の全体構成は図2に示したとおりであり、各部の説明も先述した。本イオン源の構成部品の具体的数値を挙げると、イオン材料はGeで搭載量は約10mgである。エミッタ25の形状は、シャフト径0.25mm、先端の頂角50°、先端曲率半径3μmの針状で、リザーバ22は内径0.4mm、外径0.5mm、高さ2mmの円管状で、いずれも炭化タングステン(WC)から成ることが特徴である。また、直径0.1mmのフィラメン

ト（ヒータ）23、23'もWCから成る。座28はアルミセラミック製である。動作温度（リザーバ温度）は950℃から970℃以内に設定することで長時間動作が期待できる。

【0036】本EHDイオン源は、①イオン材料にGe単体を用いたため一次イオンビーム内に重金属、ドーパント元素イオンを含むことはなく、試料面への重金属、ドーパント元素の汚染をもたらさないこと、②エミッタ、リザーバ材にWCを用いたため熔融Geとの反応を軽減し、長寿命化が実現したことで、イオン源の交換までの時間が長くなり、FIB装置の稼働率が向上するという効果を有する。

【0037】（実施例2）ここでは、実施例1に示したGe-EHDイオン源を搭載したS1ウエハ検査装置の実施例を図1を用いて説明する。

【0038】最大加速電圧20kVのFIB装置1に本発明によるGe-EHDイオン源2を搭載した。3はGe-EHDイオン源のエミッタ、4は引出し電極を示し、FIB光学系5は、イオン源から放出したイオンの拡がり  
20 を制限するビーム制限アパチャ6、集束レンズ7、7'、電場と磁場を重ねたE×B質量分離器（ウィーンフィルタ）8、絞り9、偏向器10などから成る。試料台11上の試料12にGe-FIB13を照射し、照射地点から放出した二次電子14を二次電子検出器15に取り込み、Ge-FIB13の偏向とCRT（図示せず）の走査を同期させることでCRT上にGe-FIB13走査領域の二次電子像を描かせることができる。また、試料は製造ラインを流れるウエハに対して、ラインから  
30 随時サンプリングでき、バルブ16、16'で仕切られた試料室17に搬入、排出できる構成である。

【0039】本発明による装置の特徴の一つは、ビーム制限アパチャ6、絞り9はシリコン板で作成したことにある。Ge-EHDイオン源2から放出したGeイオンがイオン光学部品、特に、ビーム制限アパチャ6、絞り9を照射し、そこから生じる二次粒子、二次イオンが試料に到達して汚染源となるためである。したがって、従来アパチャなどに頻繁に用いられていたモリブデンやタングステンは用いず、S1板を用いた。S1板のほかに、炭素板、炭化シリコン板についても同様の効果を示した。本装置の具体的な応用例は下記実施例4で示す。

【0040】上述のように、本装置は、①一次イオンビーム照射系のイオン源にGe-EHDイオン源を搭載することでイオン源からの重金属、ドーパント元素イオンの放出を除去できたこと、②イオン光学系内のパーツ、特に、ビーム制限アパチャ、絞りにS1材を用いることでイオンビーム照射による重金属などの二次粒子の発生を除去したことで不純物汚染を回避できたこと、③試料は製造ラインを流れるウエハに対して、ラインから随時サンプリングでき試料室に搬入、排出できる構成であるため、試料を大気に曝すことなく、連結された他装置が  
50

ら試料を持ち込むことができる。また、インラインで検査できるため、製造と検査、修正のターンアラウンド時間の節約という効果ももたらした。

【0041】この装置と、他装置との関連を示したのが次の実施例である。

【0042】（実施例3）本実施例は、図5に示すマルチチャンバプロセス装置の一つのチャンバに実施例2で示したS1ウエハ検査装置を用いた例である。また、これは前記図3で示した本発明によるFIB照射方法を具体的に実行するための装置でもある。このマルチチャンバプロセス装置は、プロセスチャンバ50A、50B、50C、50Dとロードロックチャンバ53A、53Bが、ウエハハンドラ54を備えてウエハ55を夫々のチャンバに搬送する搬送チャンバ56にゲートバルブ57A、57B、57C、57D、57E、57Fを介して  
20 された装置で、基本的にウエハを大気に触れさせずに連続した複数のプロセスが処理できる。

【0043】図5におけるチャンバ50Cは本発明によるS1ウエハ検査装置であり、チャンバ50A、50Bは他の製造装置、チャンバ50Dは走査型電子顕微鏡である。ロードロックチャンバ53Aに投入したウエハ58は、ゲートバルブ57F開放後、ウエハハンドラ54によって搬送チャンバ56に導入される。ゲートバルブ57F閉鎖後、ゲートバルブ57Aを開放し、ウエハ58をプロセス装置60のステージに設置される。その後、ゲートバルブ57Aを閉鎖し、プロセス装置60による処理を開始する。以後、ゲートバルブの開閉、ウエハの移動を繰返し、ウエハ58を本発明によるS1ウエハ検査装置59のステージに設置する。本構成でのS1ウエハ検査装置59は、ウエハ58面上の異物を観察し、ある場合はスパッタにより除去でき、さらに矩形孔形成によりウエハ58表面下の多層配線間の異常を観察することができる。さらに、高分解能の観察が必要な場合、チャンバ54に設置した走査型電子顕微鏡によって観察することができる。

【0044】このような装置により、製造プロセス途中のウエハについて、プロセス条件の良否を確実に、短時間に、更に、大気に曝すことなく、電気的汚染を伴わずに実行できる。さらに、FIBのスパッタリングを利用して、異物等を除去することができ、また、必要なら電子顕微鏡によって観察することができる。本実施例では、各プロセス装置に具体的な装置を指定しなかったが、限定されることはない。

【0045】このように、本発明による集束イオンビーム装置は試料や装置に電気的汚染となる物質を発生しないため、他の半導体製造装置や分析装置と連結させることが実現できた。このマルチチャンバプロセス装置により、半導体デバイス、特に、特定使用向けデバイスの製造が効率的に行なうことができ、歩留りが向上した。

【0046】（実施例4）この実施例2および3で示し

たS i ウエハ検査装置を用いた検査例を説明する。検査内容は、多層配線間の絶縁層の形成が所定の厚さを有しているかを確認することである。多層配線構造を正確に動作させるには、配線間の絶縁膜が所定の膜厚を有し、絶縁耐圧を示すことが重要課題の一つである。しかし、検査対象としたデバイスでは、この絶縁膜形成の再現性が悪く、時折、所定膜厚より薄いために配線間でリークを起こす事故が発生し、製品歩留の悪化をもたらしていた。そこで、製造ラインをながれるS i ウエハを無作為に抽出し、シリコンウエハ上で、予め決められた検査用デバイス内の特定箇所にてGe-F I Bを照射して、断面を形成して観察した。図6はS i ウエハ面の一部にF I Bを照射している様子を立体的に示した図である。Ge-F I B 70の走査により、一辺が約5  $\mu$ m、深さ約5  $\mu$ mの矩形穴71を形成し、3層配線の断面(矩形穴の側面)を、F I B照射によって得られる二次電子像によって観察、検査した。72は第1層配線、73は第2層配線、74は第3層配線、75は第1層間絶縁膜、76は第2層間絶縁膜、77は表面保護膜であり、第1配線72と第2配線73が絶縁され、第2配線73と第3配線74が上下関係に接続してことが観察できる。第1配線72と第2配線72の間の絶縁層75と第2配線73に注目し、特にこの部分を拡大して観察した様子を図7に示す。図7から絶縁層75の上面が平坦でないため、第2配線73の一部(A点)が第1配線のB点に接近していることが観察でき、このAB間で耐圧が低下していたことが明らかになった。この操作を1ウエハについて10箇所の検査用デバイスについて行なった結果、全点が同じ傾向を示すため、第1層間絶縁膜75の平坦化プロセスの条件に修正を施した。プロセス条件の修正後に同様の検査を行なった結果、検査箇所の全点が所定の寸法、耐圧を満たし、そのウエハ及びそのロットを良品と判断して次工程に回した。このような検査方法により、多層配線形成工程における不良品をいち早く検出することができ、最終製品の歩留向上に大きく寄与した。

【0047】本実施例では、今回は多層配線部の断面観察について説明したがこれに限らず、電子ビームプロービングのためのコンタクトホール形成、表面配線の短絡部の切断などに用いてもよいことは言うまでもない。

【0048】(実施例5) 本実施例は、Arガス電界電離イオン源(以下、Ar-F I Sと略記)を二次イオン質量分析装置(以下、S I M Sと記載)に搭載した例である。図8を用いて説明する。二次イオン質量分析装置80自体の基本構成は、従来からあるF I B光学系を擁する一次イオンビーム照射系81、試料室82、二次イオン分析部83からなるが、イオン発生部がAr-F I Sであることに最大の特徴を有する。一次イオンビーム照射系81はAr-F I S 84、集束レンズ85、85'、E X B質量分離器86、アライナ87、偏向器88、パルプ89、89'などからなる。二次イオン分析

部83には四重極質量分析計を設置した。勿論、扇型磁場を有する質量分析計でも問題はない。90はArガスを貯留されたガスタンク。91はエミッタ92を冷却するための冷却手段である。

【0049】イオン源84で電界電離されたArイオンは、集束レンズ85、85'で集束され、試料93に照射される。照射部分から二次イオン94が放出され、これを二次イオン分析部83で質量分析し、試料表面近傍の組成分析ができる。

10 【0050】従来のF I B照射系を持つS I M S装置は一次イオンビーム種がGaであったため、一度分析した試料を再び半導体製造ラインに復帰させることがラインの汚染の立場からできなかったことと、分析中(ビーム照射中)にGa液滴が分析部に堆積し、分析結果を信頼性の無いものにするという問題点を有していた。

【0051】しかし、本発明によるAr-F I S搭載S I M Sを用いることで、分析後の試料面をGaなど金属汚染することなく製造ラインに復帰させることができ、また、分析中に一次イオンビームが分析データに影響することがないので、半導体素子製造のインラインでの信頼性ある分析装置として用いることができる。更に、分析感度はGa-F I Bと大きな違いはない。

【0052】本実施例でのS I M Sは、試料を汚染しないことは勿論、実施例2と同様、試料は製造ラインを流れるウエハに対してラインから随時サンプリングでき、試料室に搬入・排出できる構成である。また、実施例3で示したマルチチャンバプロセス装置にも結合できる。このためインラインで検査でき、ターンアラウンド時間の節約という効果をもたらした。

30 【0053】(実施例6) 本実施例6は、電気流体力学的キセノンイオン源(以下、Xe-EHDイオン源と略記)を搭載した極微小部の表面異物除去装置である。

【0054】最近の半導体デバイス製造におけるクリーン化技術は高度になってきたが、微塵埃などの完全な除去は望めず、それらの混入による不良デバイスの発生は避け難い。特に、混入微塵埃の位置がデバイスの絶縁層内であったり、配線間にまたがっていると、デバイス動作に致命的支障を来す。特に、超大型コンピュータに内蔵されるU L S I (超高集積回路)のように、単品で作成されるがために非常に高価なデバイスについては、上記のような微塵埃のための配線短絡などは決して許されない。従って、このような欠陥を早急に見つけ、かつ、その場で対処できる装置が望まれていた。

【0055】本実施例で示すXe-EHDイオン源を搭載した表面異物除去装置は、エッチングや膜形成等の各プロセス終了後に、ウエハ表面異物検査装置によって表面に付着した微小異物を検出し、特に従来の方法では除去できにくかった異物について、Xe-F I B照射による特定領域のスパッタエッチングを施し、微塵埃を除去する装置である。

【0056】図9は表面異物除去装置の概略横断面図で、上方から見た図である。100はイオン源、101はFIB照射系、102は試料、103は二次電子検出器である。イオン源100の概略構成は図4に示し、原理、動作は上述のとおりである。試料台104はデバイス製造ラインから随時、バルブ105を介して搬入・搬出ができる。FIB照射系101によって集束されたXe-FIB106は、試料102に照射される。

【0057】以下、本発明によるXe-EHDイオン源のFIB装置への適用例を示す。ここで示す試料は超大型コンピュータに搭載されるSi-ULSIである。図10(a)は上記ウエハ110表面の配線111、111'に異物112が付着した部分の拡大図である。この試料は、異物112が導電性であったために配線111、111'が短絡していた。

【0058】異物を除去するために、まず、上記試料の表面観察は表面異物検査装置(図示せず)によって行ない、異物を発見すると、その正確な位置情報を記憶し、本実施例の表面異物除去装置内に入れる。異物は試料台を自動制御することで、イオンビーム照射位置に来るよう移動できる。次に、低電流のXe-FIB113を異物よりやや広い領域に照射し、この時放出される二次電子によって試料表面を観察し、異物112を確認する。この時の異物112は直径約1 $\mu$ mの球形であった。Xe-FIB113の試料電流を高め、異物112を覆う領域を走査した。約10分間の照射によって、図10(b)のように試料表面はFIB照射による照射跡114は若干残るものの、上記異物は完全に除去でき、配線111、111'間の短絡はなくなり、両配線間の耐圧は復帰した。

【0059】このFIBが不活性ガスの一種であるXeイオンであるため、FIB照射による試料への電氣的汚染が全く無いのが最大の効果である。また、この装置は上に示した異物除去の他に、表面に形成された薄い酸化膜を除去することもでき、走査型電子顕微鏡での観察や、FIBによる表面観察の際に明確なコントラストで観察することにも利用できる。

【0060】(実施例7)本実施例では、FIBの照射地点周辺に有機金属ガスを吹き付け、FIBとガスとの反応で、ガス中の金属が基板に堆積するさせる、所謂、FIBアシステッドデポジション(以下、FIBADと略記)を利用する配線修正装置について説明する。本実施例では、イオン材料がSi単体であるLMISを用いてSi-FIBを形成し、このSi-FIBと有機金属ガスの組み合わせでタングステン(W)配線を形成した。

【0061】FIBADのよく知られた例は、完成に近い半導体デバイスに対して、配線のデバッグとしてヘキサカルボニルタングステン(W(CO)<sub>6</sub>)ガスとGa-FIBを用いてW配線を堆積させる例がある。つまり、所定のプロセスを経て作成されたデバイスの中で、回路設

計ミスなどによる部分的不良が生じ、所望の動作をしないデバイスに対して配線をつなぎ変える手法、所謂、配線修正である。FIBADが適用されるまでの従来のデバッグ法は、新たにフォトマスクマスクを作り直し、再度同じプロセスを経て作り直されていたため、1度デバッグするには1ヶ月以上もの時間を要し、完成までに多大の時間と費用を必要としていた。一方、FIBADを用いると、不良箇所のみを修正するため、修正には数時間で済み、時間とコストの面から多大の短縮をもたらした。

【0062】しかし、これまでのFIBADには致命的の問題を抱えていた。つまり、修正されたデバイスの動作寿命が短いことである。原因は、デバッグ時に新たな配線を有機金属ガスとGa-FIBを用いた金属堆積によりなされていたため、配線修正時にGaがデバイス表面に付着し、これがSi基板内で活性化し、長期間後に電氣的劣化をもたらしたためである。つまり、一次イオンビーム種に問題があった。

【0063】そこで、従来のGa-LMISに替えてGe-LMISを用いた。Siは基板と同元素であるため、電氣的汚染を伴わないという最大の利点を有している。

【0064】実際にGe-FIBによるW配線を行ない、Siデバイスのデバッグを行なった。Wの堆積効率を比較すると、従来のGa-FIBの場合と同程度であった。さらに、Ga-FIBによる修正デバイスの寿命を比較するとGe-FIBによるものは、修正後約3年経過しても問題を起こすことなく動作し続け、従来のGa-FIBによる修正デバイスの少なくとも約3倍以上の寿命を持つことがわかった。つまり、FIB種がドーパントとして働かないためデバイスに電氣的な汚染を与えることが無くなったためである。

【0065】本実施例の装置を用いることにより、重金属汚染が生じないことと、FIB種がドーパントとして働かないため、これまで製造ライン外で行なわれていたデバイス修正が、製造ライン内で行なうことができ、デバイス完成までの時間短縮がなされ、かつ、修正されたデバイスの寿命を延ばすことができた。さらに、FIB種、試料共にSiであるため、FIB照射時に試料をスパッタエッチングする量が従来のGa-FIBに比べて少ないので、デポジションが効率的であるという利点を有している。

【0066】このように、ウエハやデバイス自身、および製造工程の来歴の検査を半導体製造ラインで行なうため、不良箇所の修理や、製造工程の条件変更などが即座に対応でき、不良発見から対応までのターンアラウンドタイムが大幅に削減されるという効果をもたらした。また、ここでは、完成品に近いデバイスの配線修正について説明したが、シリコンウエハについても同様の操作ができる。さらに、Ge-LMISに関しては、エミッ

タ、リザーバ材として炭化ケイ素、窒化ケイ素を用いても同様の効果を示した。

【0067】(実施例8) 本実施例は、Ge-FIBによる微細領域の非晶質層形成および従来イオン注入による極浅イオン注入領域の形成方法である。

【0068】近年のULSI製造においては、pn接合の深さはデバイス構造が微細になるにつれて益々浅くなり、ホウ素(B)イオンを出来る限り浅くイオン注入する方法が模索されている。チャネリングを完全に排除するためにGeイオンやSiイオン注入によって事前にSi基板を非晶質化しておくこと(プレ非晶質化)はよく行なわれる。特に、Geの質量はSiの約2.6倍あるため、GeイオンはSiイオンに比べて容易にSi基板を非晶質化できるため有効なイオン種である。

【0069】一方、Si基板の微小領域にイオン注入する方法として、FIBによるマスクレス注入がある。B-FIBを形成するためにはLMISのイオン材料として、Ni、Pt、Pd等の金属を含む合金を用いる。例えば、エル・ダブリュ・スワンソンら(L.W. Swanson et al.)が、論文集『ジャーナル・オブ・ヴァキューム・サイエンス・アンド・テクノロジー』第B6巻(1988年)第491頁から第495頁(Journal of Vacuum Science and Technology, B6, (1988) 491-495.)に記載の“A Comparison of Boron emission characteristics for liquid metal ion sources of PtB, PdB and NiB”と題する論文に示されている。(公知例2)しかし、これは対象とするデバイスや製造ラインを重金属汚染する危険性が高く、非汚染FIBプロセスに反する材料を用いなければならず、非汚染で所望の微細領域に極浅のイオン注入を施す何らかの方法が望まれていた。

【0070】そこで、実施例1に示したGeEHDイオン源を用いてGeFIBを形成し、Si基板のある特定領域に照射することで非晶質化させる。この後に、従来のイオン注入法によりBイオン、或いは、BF<sub>2</sub>イオンを注入することで極浅のBイオン注入層を形成することができる。

【0071】図11は、異なる深さ分布を形成するイオン注入方法を示す。図(a)のように、Si基板120の一部にGeFIB121、121'を照射する。基板120の照射部122、122'は非晶質化される。

(図(b))次に、照射部122、122'と基板120の一部を除き、基板120上にレジスト123、123'を形成する。(図(c))このレジスト123、123'を介して従来方法によるBF<sub>2</sub>イオン注入を行なう(図(d))と、図(e)のようにFIB照射部は浅く、未照射部は深い深さ分布のあるイオン注入領域125を形成することができた。しかも、非晶質部を形成するのが、Ge-FIBであるため、基板に対して電氣的汚染を与えることなく、しかも、従来以上のレジスト工程を施すことなく形成することができる。

【0072】上記実施例は、本発明のうちの僅かな例に過ぎない。本発明の趣旨は、一次イオンビーム種そのものによる汚染や、一次イオンビーム照射によって生じるイオン光学部品の微塵埃など汚染の発生を抑えた集束イオンビーム照射方法および装置を提供することであって、イオンビーム光学系の集束レンズ、偏向器などの個数や配列などはビーム集束性や試料電流の増加などの観点から、種々の改変が可能であることは周知ことである。また、イオン源の種類と一次イオンビーム照射系の組合せについても、本実施例で示した組合せのみではなく、加工効率、分析感度などの点で許容できるなら、他の組合せでも良いことは言うまでもない。

#### 【0073】

【発明の効果】本発明による集束イオンビーム照射方法およびその装置によって、集束イオンビーム照射による試料や周辺装置への電氣的汚染を与えることなくシリコンウエハやデバイスの微細加工を行えるという効果をもたらす。例えば、シリコン半導体プロセスにおいて、集束イオンビーム照射によるウエハやデバイスの微細加工、観察、分析、動作状態の検査などがインラインで行えるため、製品の歩留まり向上に貢献する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例であるゲルマニウム液体金属イオン源を搭載したシリコンウエハ検査装置を説明するための概略構成図である。

【図2】図1に示したシリコンウエハ検査装置に搭載したゲルマニウム液体金属イオン源を説明するための概略構成図である。

【図3】半導体素子製造における従来プロセスフローと本発明による集束イオンビーム照射方法のフローを説明するための図である。

【図4】本発明の一実施例であるゼノンEHDイオン源を説明するための概略断面図である。

【図5】本発明の一実施例である集束イオンビーム装置をマルチチャンバプロセス装置に搭載した例を示す図である。

【図6】本発明のシリコンウエハ検査装置の効果を示すために、ゲルマニウム集束イオンビームによってウエハ上に矩形孔を形成している様子を示す図である。

【図7】図6における断面の拡大断面であり、本発明のウエハ検査装置によって発見された配線間耐圧不良の原因を説明するための図である。

【図8】本発明の一実施例である、アルゴン電界電離ガスイオン源を搭載したインライン二次イオン質量分析装置を説明するための概略構成図である。

【図9】本発明の一実施例であるゼノンEHDイオン源を搭載した表面異物除去装置の概略構成を示す図である。

【図10】(a)は本発明による表面異物除去装置の効果を示すために注目したデバイス表面に付着した異

25

物を示す図であり、(b)は本発明による表面異物除去装置の効果を示すために、ゼノン集束イオンビームによって異物を除去した後の様子を示す図である。

【図11】は本発明の一実施例であるGe集束イオンビームを用いた微細領域の非晶質層形成および従来イオン注入による極浅イオン注入領域の形成方法を説明するための図である。

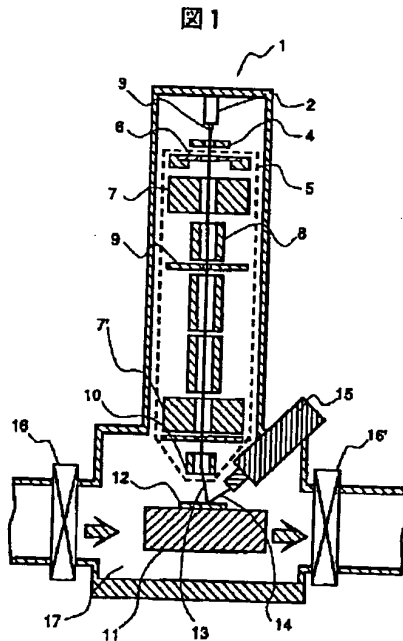
【符号の説明】

1…集束イオンビーム装置、2…ゲルマニウムEHDイオン源、3, 25, 35, 92…エミッタ、4, 26, 39…引出し電極、5…FIB光学系、6…ビーム制限アパチャ、7, 7', 85, 85'…集束レンズ、8, 86…E×B質量分離器、9…絞り、10, 88…偏向器、11, 104…試料台、12, 93, 102…試料、13…ゲルマニウム集束イオンビーム、14…二次電子、15…二次電子検出器、16, 16', 89, 89', 105…バルブ、17, 82…試料室、21…イオン材料、22, 33…リザーバ、23, 23'…ヒータ、24…イオン、27, 27'…電流導入端子、28…絶縁端子、29…支持部、30…イオン源、31, 40…供給口、32…液

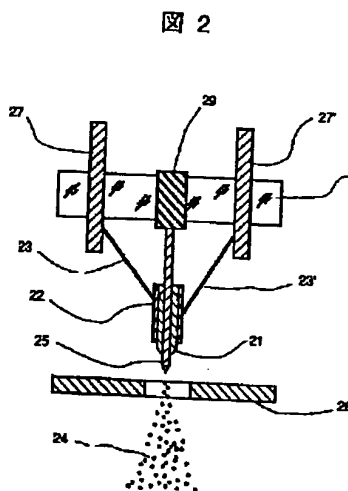
26

体ゼノン(イオン材料)、34…キャピラリ、36…冷媒(液体窒素)、37…冷却槽、38…サファイアブロック、41…セラミックス、42…真空容器、50A, 50B, 50C, 50D…プロセスチャンバ、53A, 53B…ロードロックチャンバ、54…ウエハハンドラ、55, 58, 110…ウエハ、56…搬送チャンバ、57A, 57B, 57C, 57D, 57E, 57F…ゲートバルブ、70…集束イオンビーム、71…矩形穴、72…第1層配線、73…第2層配線、74…第3層配線、75…第1層間絶縁膜、76…第2層間絶縁膜、77…表面保護膜、80…二次イオン質量分析装置、81…一次イオンビーム照射系、83…二次イオン分析部、84…アルゴンガス電界電離イオン源、87…アライナ、90…ガスタンク、91…冷却手段、94…二次イオン、100…イオン源、101…FIB照射系、103…二次電子検出器、106, 113…Xe-FIB、111, 111'…配線、112…異物、114…照射跡、120…Si基板、122, 122'…照射部、123, 123'…レジスト。

【図1】

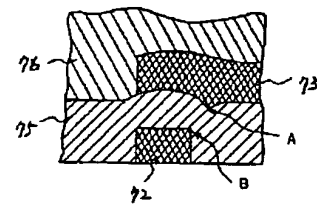


【図2】



【図7】

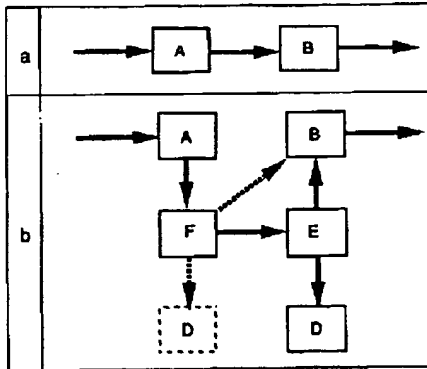
図 7





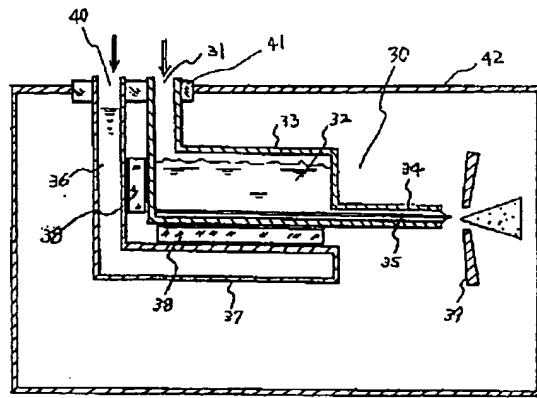
【例 3】

**图 3**



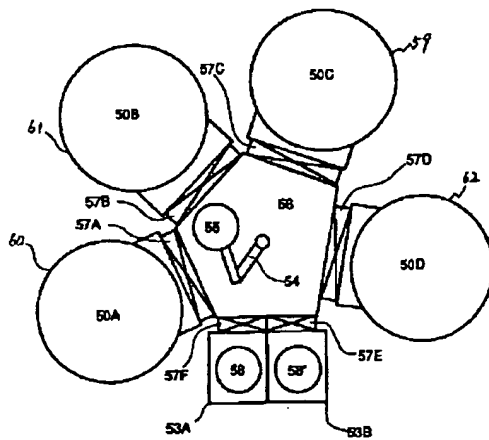
【図 4】

图 4



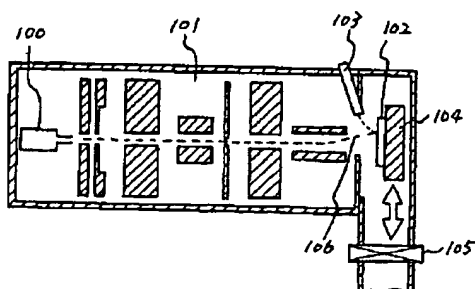
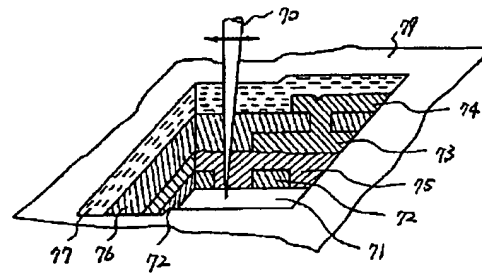
【図5】

图 5



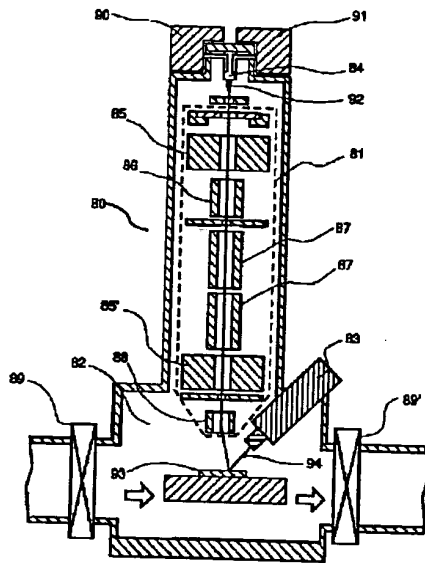
【图9】

**9**



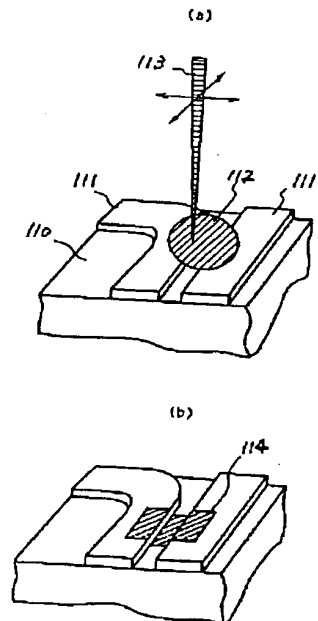
【図8】

図8



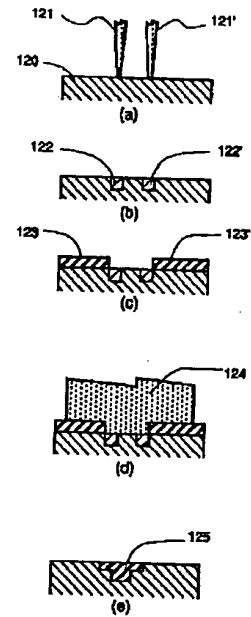
【図10】

図10



【図11】

図11



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

H 0 1 J 37/20

37/22

37/244

// H 0 1 L 21/027

21/304

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

Z

5 0 2 H

3 4 1 D